

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



| | | |
|--|---|--|
| (51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01P 15/08 | A1 | (11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/08775 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 30. März 1995 (30.03.95) |
| (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE94/01092 (22) Internationales Anmeldedatum: 20. September 1994 (20.09.94) (30) Prioritätsdaten: P 43 32 057.0 21. September 1993 (21.09.93) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WERNER, Wolfgang [DE/DE]; Säbenerstrasse 256, D-81545 München (DE). | (81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> | |

(54) Title: INTEGRATED MICROMECHANICAL SENSOR DEVICE AND PROCESS FOR PRODUCING IT

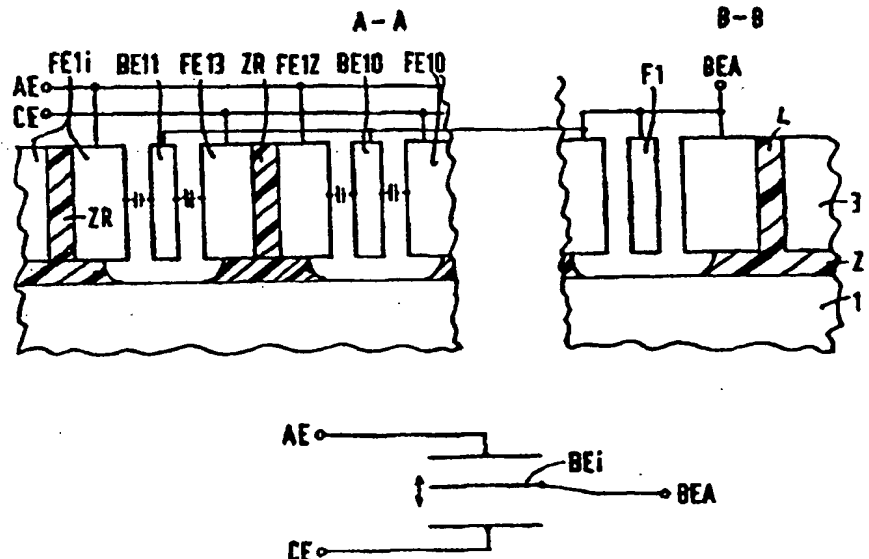
(54) Bezeichnung: INTEGRIERTE MIKROMECHANISCHE SENSORVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG

(57) Abstract

The integrated micromechanical sensor device contains a body with a substrate (1) on which are arranged an insulating layer (2) and on top of that a monocrystal silicon layer (3), where the silicon layer has cavities extending to the surface of the insulating layer and the walls of the cavities as well as the side of the silicon layer facing the insulating layer have a first doping (n^+) and the silicon layer has a second doping (n^-) at least over part of its remaining surface, where the silicon layer has a transistor in a first region (TB) and a sensor in a second region (SB), the insulating layer (2) being partially removed under the second region for this purpose. A sensor device of this kind has substantial advantages over known devices in terms of its properties and its production process.

(57) Zusammenfassung

Die integrierte mikromechanische Sensorvorrichtung enthält einen Körper mit einem Substrat (1), auf dem eine isolierende Schicht (2) und darüber eine einkristalline Siliziumschicht (3) angeordnet sind, bei der die Siliziumschicht Gräben bis auf die Oberfläche der isolierenden Schicht aufweist und die Seitenwände der Gräben sowie die der isolierenden Schicht zugewandte Seite der Siliziumschicht eine erste Dotierung (n^+) und die Siliziumschicht zumindest in einem Teilbereich ihrer verbleibenden Oberfläche eine zweite Dotierung (n^-) aufweist, bei der die Siliziumschicht in einem ersten Bereich (TB) eine Transistoranordnung und in einem zweiten Bereich (SB) eine Sensoranordnung aufweist, wozu die isolierende Schicht (2) unter dem zweiten Bereich teilweise entfernt ist. Eine derartige Sensorvorrichtung weist erhebliche Vorzüge hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihres Herstellverfahrens gegenüber bekannten Vorrichtungen auf.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | |
|----|--------------------------------|----|-----------------------------------|----|--------------------------------|
| AT | Österreich | GA | Gabon | MR | Mauretanien |
| AU | Australien | GB | Vereinigtes Königreich | MW | Malawi |
| BB | Barbados | GE | Georgien | NE | Niger |
| BE | Belgien | GN | Guinea | NL | Niederlande |
| BF | Burkina Faso | GR | Griechenland | NO | Norwegen |
| BG | Bulgarien | HU | Ungarn | NZ | Neuseeland |
| BJ | Benin | IE | Irland | PL | Polen |
| BR | Brasilien | IT | Italien | PT | Portugal |
| BY | Belarus | JP | Japan | RO | Rumänien |
| CA | Kanada | KE | Kenya | RU | Russische Föderation |
| CF | Zentrale Afrikanische Republik | KG | Kirgisistan | SD | Sudan |
| CG | Kongo | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | SE | Schweden |
| CH | Schweiz | KR | Republik Korea | SI | Slowenien |
| CI | Côte d'Ivoire | KZ | Kasachstan | SK | Slowakei |
| CM | Kamerun | LI | Liechtenstein | SN | Senegal |
| CN | China | LK | Sri Lanka | TD | Tschad |
| CS | Tschechoslowakei | LU | Luxemburg | TG | Togo |
| CZ | Tschechische Republik | LV | Lettland | TJ | Tadschikistan |
| DE | Deutschland | MC | Monaco | TT | Trinidad und Tobago |
| DK | Dänemark | MD | Republik Moldau | UA | Ukraine |
| ES | Spanien | MG | Madagaskar | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| FI | Finnland | ML | Mali | UZ | Usbekistan |
| FR | Frankreich | MN | Mongolei | VN | Vietnam |

Integrierte mikromechanische Sensorvorrichtung und Verfahren
5 zu deren Herstellung.

Die Erfindung betrifft eine integrierte mikromechanische
Sensorvorrichtung und ein Verfahren zu ihrer Herstellung.

10 Mikromechanische Sensoren finden zunehmend Eingang in alle
Bereiche der Technik, z. B. in Navigationssysteme und Kraft-
fahrzeuge, insbesondere in Verbindung mit Sicherheitssyste-
men. Einen großen Teil derartiger Sensoren bilden Druck- und
Beschleunigungssensoren. Gefragt sind zuverlässige, kleine,
15 einfach herzustellende und dabei preiswerte Sensoren mit ei-
ner hohen Meßgenauigkeit und einer guten Proportionalität
zwischen Meßgröße und Ausgangssignal.

Die meisten heute verwendeten Druck- oder Beschleunigungs-
20 sensoren werden feinmechanisch oder mittels KOH-Ätztechnik
auf Siliziumbasis (bulk-micromachining) hergestellt. Die
Auswertung des bislang meist mittels des Piezoeffekts er-
zeugten Sensorsignals erfolgt getrennt vom Sensor. Der Trend
geht jedoch zum intelligenten Sensor, bei dem der Sensor so-
wie die Schaltung zur Auswertung des Sensorsignals und gege-
25 benenfalls eine Testschaltung auf Basis der Siliziumplanar-
technologie auf einem Chip integriert sind. Die Auswertung
des piezoresistiven oder kapazitiven Sensorsignals sowie die
Linearisierung und Verstärkung erfolgen mit Halbleiter-
30 schaltkreisen bekannter Technologien. Ein derartiger Sensor
ist beispielsweise aus der Veröffentlichung F. Goodenough:
Airbags Boom When IC Accelerometer Sees 50 G, Electronic De-
sign, August 8, 1991, pp. 45-56 bekannt.

35 Während konventionell hergestellte mikromechanische Sensoren
relativ groß, teuer und ungenau sind, beschreibt die vorste-
hend genannte Veröffentlichung eine verbesserte Ausführungs-

form. Dieser bekannte sogenannte oberflächen-mikromechanische Sensor (surface micromachining) benötigt, wie insbesondere aus der diesbezüglichen weiteren Veröffentlichung: Analog Devices Combines Micromachining and BICMOS, Semiconductor International, Okt. 1991 hervorgeht, zu seiner Herstellung 21 Masken, nämlich 6 Masken für den Sensorprozeß und 15 Masken für einen 4 μm -BICMOS-Prozeß. Das zur Ausbildung des kapazitiven Sensors kammförmige Sensorelement besteht aus einem 2 μm -dicken Polysiliziumelement und ist über Federn, die ebenfalls aus Polysilizium sind, mit der Substratoberfläche verbunden.

Das Herstellungsverfahren für den bekannten Sensor ist außerordentlich aufwendig und teuer. Darüberhinaus ist unsicher, ob die für die mechanisch bewegten Teile des Sensors verwendeten Polysiliziumschichten eine ausreichende mechanische Langzeitstabilität aufweisen. Neben dieser möglichen zeitlichen Degradation sind die mechanischen Eigenschaften wie der Elastizitätsmodul oder intrinsischer Streß von Polysilizium sensibel von den jeweiligen Prozeßbedingungen während der Herstellung abhängig. Die thermische Ausheilung des intrinsischen Stresses erfordert im Herstellungsprozeß zusätzliche Temperschritte, was sich nachteilig auf die gleichzeitig in dem Sensor integrierte elektronische Schaltung auswirkt. Zudem sind im Herstellungsprozeß zusätzliche Abscheidungen von Halbleiterschichten notwendig. Bei einem denkbaren Einsatz von modernen Sub- μm -BICMOS-Schaltungen für die Auswertung des Sensors ist es aufgrund der dabei verwendeten niedrigen Prozeßtemperaturen nicht mehr möglich, streßfreie Polysiliziumschichten herzustellen.

Die nachveröffentlichte DE-A-43 09 917 beschreibt die Verwendung einer einkristallinen Siliziumschicht mit einer darüberliegenden Siliziumnitridschicht.

35

Die Erfindung sieht eine integrierte mikromechanische Sensorvorrichtung vor, bei der ein Körper mit einem Substrat, mit

einer darüber angeordneten einkristallinen Siliziumschicht und mit einer in einem vorgegebenen Bereich dazwischen angeordneten isolierenden Schicht gebildet ist, bei der die Siliziumschicht Gräben von ihrer Oberfläche bis zu ihrer unteren Grenzfläche aufweist, bei der in der Siliziumschicht die Seitenwände der Gräben und die der unteren Grenzfläche der Siliziumschicht zugeordnete Zone der Siliziumschicht eine erste vorgegebene Dotierung haben und die Siliziumschicht zumindest in einem Teilbereich eine zweite vorgegebene Dotierung aufweist, bei der eine Transistoranordnung in einem ersten Bereich der Siliziumschicht über der isolierenden Schicht vorgesehen ist und bei der eine Sensoranordnung in einem zweiten Bereich der Siliziumschicht vorgesehen ist, in dem zumindest teilweise keine isolierende Schicht vorhanden ist.

Ein Verfahren zur Herstellung einer integrierten mikromechanischen Sensorvorrichtung sieht folgende Schritte vor:

- Bilden eines Grundkörpers mit einer auf einem Substrat angeordneten isolierenden Schicht und einer darüber angeordneten einkristallinen Siliziumschicht, wobei die Siliziumschicht eine vorgegebene Dotierung aufweist,
- Ätzen von Gräben in der Siliziumschicht bis auf die Oberfläche der isolierenden Schicht,
- Dotieren der Grabenwände,
- Erzeugen einer Transistoranordnung in einem ersten Bereich der Siliziumschicht und
- Entfernen der isolierenden Schicht unter einem zweiten Bereich der Siliziumschicht.

Nach dem Dotieren der Grabenwände können die Gräben mit einer isolierenden Oxidschicht aufgefüllt werden. Vorzugsweise werden die Gräben jedoch nach ihrer Herstellung mit einem dotierenden Oxid (dotierende Isolierschicht) aufgefüllt, das als Dotierquelle für die nachfolgende Dotierung der Grabenwände dient. Das Oxid in den Gräben wird unter dem zweiten Bereich der Siliziumschicht in Verbindung mit der isolierenden Schicht wieder entfernt.

- 10 Der gemäß der Erfindung hergestellte Sensor enthält einkristallines Silizium. Er vermeidet die Verwendung von Polysiliziumschichten für die mechanisch bewegten Teile, da für diese Teile einkristallines Silizium verwendet wird. Einkristallines Silizium besitzt genau bekannte mechanische Eigenschaften, die nicht von den jeweiligen Parametern des Herstellungsprozesses abhängen. Zudem sind die mechanischen Eigenschaften keiner zeitlichen Degradation unterworfen, so daß die Langzeitstabilität sehr groß ist.
- 15
- 20 Die Erfindung hat den weiteren Vorteil, daß sie unter Verwendung bekannter und verfügbarer Grabenätz- und Auffüllverfahren in vollem Umfang VLSI-kompatibel ist. Weiterhin ist die erfindungsgemäße Sensorvorrichtung mechanisch robust, da sich die beweglichen Teile in der Siliziumschicht befinden und nicht auf der Chipoberfläche. Da die Elektroden des Sensors senkrecht zur Chipoberfläche stehen ergibt sich eine hohe spezifische Kapazität (Packungsdichte) des Sensors. Gleichzeitig wird das Sticking-Problem, d. h. eine Adhäsion von Flächen beim oder nach einem Spülvorgang entschärft, da
- 25
- 30 die Steifigkeit der Sensorvorrichtung senkrecht zur Schwingungsrichtung sehr groß ist.

Schließlich bietet die erfindungsgemäße Sensorvorrichtung den erheblichen Vorteil, daß bei der Verwendung eines bipolaren oder eines BICMOS-Prozesses die Maskenzahl zur Herstellung der Sensorvorrichtung gegenüber einem Standardprozeß in diesen Technologien nicht erhöht wird.

35

Ausgestaltungen der Erfindung sind in Unteransprüchen gekennzeichnet.

- 5 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren der Zeichnung näher erläutert, von denen

Figuren 1 bis 5 Querschnitte durch eine erfindungsgemäße Vorrichtung bei verschiedenen Herstellverfahrensschritten zeigen und

Figur 6 eine Draufsicht auf eine kapazitive Sensoranordnung zeigt.

- 15 Figur 1 zeigt einen bei der Herstellung der integrierten mikromechanischen Sensorvorrichtung gebildeten Grundkörper 10. Auf einem Substrat 1 ist eine isolierende Schicht 2 und auf dieser isolierenden Schicht eine einkristalline Siliziumschicht 3 angeordnet. Das Substrat kann ebenfalls aus Silizium bestehen. Typischerweise wird die Dicke der isolierenden Schicht 2 zwischen 0,5 und 1 μm gewählt, während die Schichtdicke der Siliziumschicht 3 z. B. zwischen 5 und 20 μm betragen kann. Die Kristallorientierung und Dotierung des Substrats ist beliebig. Die Orientierung und Dotierung der Siliziumschicht 3 entspricht der bei der Herstellung der Sensorvorrichtung und deren Halbleiterschaltungsanordnung verwendeten Basistechnologie.

- Im Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 ist die der isolierenden Schicht 2 bzw. die der unteren Granzfläche der Siliziumschicht zugewandte Seite der Siliziumschicht 3 n^+ -dotiert, während die von der isolierenden Schicht 2 abgewandte Oberflächenzone der Siliziumschicht n^- -dotiert ist. Die Dotierung der Siliziumschicht 3 ist für das eigentliche Sensorelement nicht notwendig, sondern richtet sich ausschließlich nach der Technologie, die für die integrierte Schaltungsanordnung verwendet werden soll.

Der Grundkörper gemäß Figur 1 kann z. B. eine DWB-Scheibe sein, wobei DWB Direct-Wafer-Bonding bedeutet. Derartige Scheiben sind aus zwei Halbleiterscheiben zusammengeklebt und lassen sich mit hoher Qualität mit den in Figur 1 gezeigten Schichtdicken und Dotierungen am Markt erwerben. Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung des in Figur 1 gezeigten Grundkörpers ist die Verwendung des sogenannten SIMOX-Verfahrens (I. Ruge, H. Mader: Halbleiter-Technologie, Springer-Verlag, 3. Auflage, 1991, Seite 237). Dabei wird eine isolierende Schicht aus Siliziumoxid durch tiefe Ionenimplantation von Sauerstoffatomen in einkristallines Silizium gebildet. Daran kann sich ein Epitaxieschritt anschließen. Eine dritte Möglichkeit zur Herstellung des Grundkörpers gemäß Figur 1 macht von der Rekristallisation Gebrauch, bei der eine über einer einkristallinen Siliziumschicht und einer darauf angeordneten Siliziumoxidschicht zunächst amorph oder polykristallin abgeschiedene Siliziumschicht durch Aufschmelzen mit einem Laserstrahl rekristallisiert wird.

In einem nächsten Schritt werden in die einkristalline Siliziumschicht 3 Gräben bis auf die Oberfläche der isolierenden Schicht 2 geätzt, beispielsweise durch eine anisotrope Trockenätzung. Anschließend werden die Gräben mit einem dotierenden Isolierstoff aufgefüllt. Im Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 kann Phosphorglas (PSG) oder Borphosphorglas (BPSG) verwendet werden. Die Erzeugung derartiger Glasschichten ist beispielsweise aus D. Widmann, H. Mader, H. Friedrich: Technologie hochintegrierter Schaltungen, Springer-Verlag, 1988, Seite 80 ff. bekannt. Bei einer entsprechenden Temperaturbehandlung diffundieren Phosphor und gegebenenfalls Bor aus dem Phosphorglas in das Silizium der Grabenwände der Siliziumschicht 3 ein. Damit ergibt sich die in Figur 2 gezeigte Struktur, bei der die isolierende Schicht 2 und die dotierende Isolierschicht 4 am Fuß der zuvor geätzten Gräben aufeinanderstoßen. Die Grabenwände sind entsprechend der an der isolierenden Schicht 2 angrenzenden Zone der

Siliziumschicht 3 dotiert, d. h. im Ausführungsbeispiel n^+ -dotiert.

Durch das Ätzen von Gräben in der Siliziumschicht und das
5 Dotieren der Grabenwände werden sowohl der Bereich SB, in dem
der eigentliche Sensor vorgesehen ist, als auch der Bereich
TB, in dem die elektronische Auswerteschaltung, zumindest
aber eine Transistoranordnung für die Verarbeitung des
10 Sensorsignals vorgesehen ist, strukturiert und gegeneinander
isoliert. Der Bereich TB beinhaltet eine oder mehrere iso-
lierte Wannen, in die je nach Vorgabe CMOS-, Bipolar- oder
sonstige Bauelemente eingebaut werden. Wenn die im Bereich TB
zu realisierende Transistoranordnung z. B. ein bipolarer
15 Transistor ist, ist mit der in Figur 2 gezeigten Struktur des
Bereichs TB bereits eine vergrabene Kollektorzone und ein
niederohmiger Kollektor-Anschluß in Form der dotierten
Grabenwände erzeugt. Gegenüber Anordnungen aus dem Stand der
Technik erfordert die Erzeugung der in Figur 2 gezeigten
20 Struktur keine separaten Masken- und Dotierungsprozesse für
die vergrabene Zone, für einen Kanalstopper und für einen
Kollektor. Ein Epitaxieprozeß kann ebenfalls entfallen.

Ausgehend von der Struktur der Figur 2 wird anschließend eine
Transistoranordnung in dem Bereich TB erzeugt. Diese
25 Transistoranordnung kann mit einem standardmäßigen bipolaren
oder BICMOS-Prozeß hergestellt werden. Beispiel für derartige
Prozesse sind z. B. aus der vorgenannten Veröffentlichung
Widmann/Mader/Friedrich: Technologie hochintegrierter
Schaltungen bekannt. Bei einer bipolaren Transistorstruktur
30 kann z. B., ausgehend von Figur 2, zunächst die Basiszone,
bei einem BICMOS-Prozeß zunächst die p-bzw. n-Wanne erzeugt
werden.

Selbstverständlich ist es möglich, ausgehend von der Struktur
35 der Figur 2 auch eine MOS-Transistoranordnung in dem
Grundkörper zu realisieren. Auch in diesem Fall beginnt der

standardmäßige Prozeß mit der Erzeugung einer p- bzw. n-Wanne in dem für die Transistorstrukturen vorgesehenen Bereich TB.

Während der Erzeugung der Transistoranordnung wird der Bereich SB, der für das Sensorelement vorgesehen ist, durch eine entsprechende Maske abgedeckt. Gemäß Figur 3 ergibt sich z. B. ein bipolarer Transistor, dessen Kollektor C niederohmig über die vergrabene Zone BL und die hochdotierten niederohmigen Grabenwände CA mit dem Kollektoranschluß K verbunden sind. Die p-dotierte Basis ist mit dem Basisanschluß B verbunden. Entsprechend ist der Emitteranschluß E über der hochdotierten n^{++} -Zone angeordnet. Basis-, Emitter- und Kollektorbereiche des Transistors sind über Isolationszonen I1 bis I3, vorzugsweise aus Siliziumoxid SiO_2 , gegeneinander isoliert. Anschließend wird über der gesamten Anordnung eine Passivierungsschicht P aufgebracht. Beispielsweise kann die Passivierungsschicht aus Siliziumnitrid Si_3N_4 bestehen.

Im Anschluß an die Erzeugung der Transistoranordnung wird die Passivierungsschicht P über dem Sensorbereich SB mit Hilfe einer Lackmaske FM entfernt und danach zunächst der dotierende Isolierstoff 4 in den Gräben des Sensorbereichs und danach die isolierende Schicht 2 zumindest in Teilzonen des Sensorbereichs SB entfernt. Dies kann z. B. durch einen naßchemischen oder einen Trocken-Ätzprozeß erfolgen. Die isolierende Schicht 2 wird dabei unter den beweglichen Elektroden des Sensorelements vollständig und unter den nicht beweglichen Elektroden des Sensorelements nicht vollständig entfernt, so daß letztere weiterhin mechanisch mit dem Substrat 1 verbunden sind.

Figur 4 zeigt eine Anordnung nach dem Entfernen des Isolierstoffs 4 und der isolierenden Schicht 2 neben und unter den beweglichen Elektroden BE1, BE2 des Sensorbereichs SB, während unter den festen Elektroden FE1, FE2 und FE3 die isolierende Schicht 2 noch teilweise vorhanden ist. In der An-

ordnung gemäß Figur 4 ist der Transistorbereich TB anders als in Figur 3 strukturiert. Während sich an den Dotierungsverhältnissen der Siliziumschicht 3 in der Anordnung der Figur 4 gegenüber der Figur 2 nichts verändert hat, ist im Transistorbereich der Figur 4 zum Rand des Sensorbereichs hin eine Oxidschicht 5 vorgesehen. Der Transistorbereich ist mit einer Passivierungsschicht P und einer über dieser liegenden Lackmaske FM abgedeckt.

Um ein möglicherweise bei der Entfernung der isolierenden Schicht 2 unter dem Bereich der beweglichen Elektroden BE_i auftretendes Adhäsionsproblem (Sticking) zu lösen, können sublimierende Chemikalien, z. B. Cyclohexan oder Dichlorbenzol verwendet werden.

Im Anschluß an das geschilderte Entfernen der isolierenden Schicht wird die Maske FM entfernt.

Figur 5 zeigt Querschnitte durch eine Sensorstruktur, die in Figur 6 in Draufsicht dargestellt ist. Es handelt sich um einen Beschleunigungssensor, der ein bewegliches Masseteil M hat, das über Federelemente F₁, F₂ und weitere nicht dargestellte Federelemente an der Siliziumschicht 3 aufgehängt ist. Das Masseteil M hat fingerförmige bewegliche Elektroden BE₁₀, BE₁₁ und BE_{1i}, die frei in Bereiche zwischen festen Elektroden FE₁₀ bis FE₁₃ sowie FE_{1i}, hineinragen. Zwischen den beweglichen Elektroden BE_i und den festen Elektroden FE_i sind, da die Grabenwände der Elektroden hochdotiert sind, Kapazitäten gebildet, die in Figur 6 und in Figur 5a rein symbolisch dargestellt sind. Figur 5a zeigt dabei einen Schnitt entlang der Linie A-A und Figur 5b einen Schnitt entlang der Linie B-B, die in Figur 6 eingezeichnet sind. Um bei der Herstellung des Sensorteils die isolierende Schicht unter dem Masseteil zuverlässig entfernen zu können, enthält das Masseteil M Löcher L. Grundsätzlich sind die Löcher jedoch nicht zwingend erforderlich. In Figur 6 ist der Bereich der Sondermaske, die für die Erzeugung der Sensorstrukturen

verwendet wird, skizziert. Innerhalb des durch die Sonder-
maske SM definierten Bereichs erfolgt das Entfernen des do-
tierenden Isolierstoffs aus den Gräben und der isolierenden
Schicht neben und unterhalb der beweglichen Elektroden, des
5 Masseteils und der Federn vollständig.

Figur 5c zeigt das mit der Sensorstruktur von Figur 5a und b
bzw. Figur 6 erhaltene Ersatzschaltbild. Die beweglichen
Elektroden BEi, d.h. BE10i bis BEli sind über das Masseteil M
10 und die Feder Fi mit einem Anschluß BEA verbindbar. Die
festen Elektroden sind paarweise mit Anschlüssen AE und CE
verbunden, die den festen Platten eines Kondensators ent-
sprechen. Die beweglichen Elektroden bilden eine bewegliche
Platte des Kondensators, so daß Figur 5c einen Differential-
15 kondensator darstellt.

Aus den Zwischenräumen ZR zwischen zwei festen Elektroden,
Figur 5a, kann der dotierende Isolierstoff entfernt werden.
Es ist jedoch auch möglich, daß die Zwischenräume ZR der fe-
20 sten Elektroden und die darunterliegende isolierende Schicht,
die den jeweiligen festen Elektroden zugewandt ist, erhalten
bleiben. Voraussetzung ist eine andere Maske, mit der sich
nur die isolierende Schicht und der dotierende Isolierstoff
unterhalb und zwischen den beweglichen Elektroden entfernen
25 lassen.

Die festen Elektroden können alternativ zu der Struktur von
Figur 5 bzw. Figur 6 in ähnlicher Weise wie in der zuvor zi-
tierten Veröffentlichung Electronic Design mit dem Substrat 1
30 bzw. der isolierenden Schicht 2 mechanisch verbunden sein.
Die Befestigung über einen Anker hat freitragende Elektroden
zur Konsequenz, was bedeutet, daß die festen Elektroden hin-
sichtlich auf sie wirkender Beschleunigungskräfte ausreichend
biegesteif sein müssen, damit zusätzliche Meßfehler nicht
35 negativ auf die Meßgenauigkeit wirken.

- Die in Figur 6 dargestellte Sensoranordnung reagiert sensibel auf Bewegungen des Masseteils in der angedeuteten Pfeilrichtung. Die zulässige Auslenkung der fingerförmigen kapazitiven beweglichen Elektroden beträgt weniger als der
- 5 Spaltabstand zu einer festen Elektrode, d. h. weniger als etwa 1µm. Vorzugsweise ist deshalb die Auswerteschaltung der Sensorvorrichtung als Regelkreis derart ausgestaltet, daß eine Regelspannung einer Auslenkung des Masseteils in dem Sinne entgegenwirkt, daß die durch den Differentialkondensator gebildeten Teilkapazitäten jeweils gleich sind. Dieses
- 10 Verfahren hat den Vorteil, daß es ein Nullpunktverfahren ist und deshalb in der Regel genauer ist als ein absolutes Verfahren zur Bestimmung der Kapazitätsänderungen.
- 15 Eine zweidimensionale Beschleunigungsmessung ist möglich, wenn zwei Sensoranordnungen gemäß Figur 5 bzw. Figur 6 verwendet werden, die zueinander um 90°versetzt sind. Die Schwingungsrichtung der jeweiligen Masseteile liegt dabei in der Schwingungsrichtung der Chipenebene in zwei zueinander
- 20 senkrechten Richtungen. Die beschriebene Technik läßt sich in ähnlicher Weise auf die Herstellung von Differenzdrucksensoren anwenden.

Die Erfindung hat folgende Vorteile:

- 25 Das Sensormasseteil, die Elektroden und der Biegebalken, d. h. die Aufhängefedern des Sensors bestehen aus Monosilizium, so daß für die beweglichen Teile die von Polysilizium her bekannten Verbiegungen und Spannungen entfallen.
- 30 Masseteil des Sensors und die Federkonstante des Biegebalkens sowie bei einem kapazitiven Sensor die Sensorkapazität sind unabhängig voneinander einstellbar, so daß sich gut Sensorarrays realisieren lassen. Die Sensoranordnung erlaubt
- 35 eine hohe Packungsdichte des Sensors, da die Elektroden senkrecht zur Chipoberfläche stehen, so daß sich eine große kapazitive Fläche erzielen läßt. Die Steifigkeit der Elek-

troden senkrecht zur Schwingungsrichtung ist sehr groß, da das Widerstandsmoment proportional zur 3. Potenz der Elektroden- bzw. Stickingproblem auf, so daß gegenwirkende Chemikalien nicht erforderlich sind.

Da sich die beweglichen Teile des Sensors im Silizium bzw. in der Siliziumschicht befinden und nicht auf der Chipoberfläche ist der Sensor mechanisch außerordentlich robust. Durch die Anordnung der Elektroden und des Masseteils in der Chipebene ist außerdem automatisch eine Überlastsicherung in der Chipebene gegeben.

Bei Verwendung eines bipolaren oder eines BICMOS-Standardprozesses als Basistechnologie für die Auswerteschaltung des intelligenten Sensors wird die Maskenzahl nicht erhöht. Dadurch lassen sich erhebliche Kosten sparen und der Herstellungsprozeß insgesamt vereinfachen.

Grundsätzlich ist das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die Sensorvorrichtung kombinierbar mit allen bekannten Technologien. Insbesondere ist die Sensorvorrichtung VLSI-kompatibel, so daß Strukturbreiten unter 1µm erzielt werden können. Verwendung bei der Herstellung können deshalb die aus der Halbleitertechnologie bekannten Grabenätz- und Auffüllverfahren sowie die üblichen Halbleiterverfahren finden.

30

35

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer integrierten mikromechanischen Sensorvorrichtung, g e k e n n z e i c h - n e t

5 durch folgende Schritte:

- 10 a) Bilden eines Körpers mit einer auf einem Substrat (1) angeordneten isolierenden Schicht (2) und einer darüber angeordneten einkristallinen Siliziumschicht (3), wobei die Siliziumschicht eine vorgegebene Dotierung (n^+ , n^-) aufweist,
- 15 b) Ätzen von Gräben in der Siliziumschicht bis auf die Oberfläche der isolierenden Schicht,
- c) Dotieren der Grabenwände,
- 20 d) Erzeugen einer Transistoranordnung in einem ersten Bereich (TB) der Siliziumschicht, und
- e) Entfernen der isolierenden Schicht (2) unter einem zweiten Bereich (SB) der Siliziumschicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß bei der Siliziumschicht an ihrer der isolierenden Schicht zugewandten Seite eine erste vorgegebene Dotierung (n^+) und in ihrer Oberflächenzone eine zweite vorgegebene Dotierung (n^-) vorgesehen werden.

30

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Gräben mit einem dotierenden Isolierstoff (4) aufgefüllt werden.

35

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Gräben mit Phosphorglas aufgefüllt werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

- 5 daß die Grabenwände entsprechend der ersten vorgegebenen Dotierung (n^+) der Siliziumschicht (3) dotiert werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

- 10 daß die Transistoranordnung nach einem bipolaren, einem MOS- oder einem Bipolar-/MOS-Standardprozeß erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

- 15 daß nach Erzeugen der Transistoranordnung eine Passivierungsschicht (P) in einem Sensorbereich (SB) entfernt und danach der Isolierstoff in den Gräben des Sensorbereichs und die isolierende Schicht unter der Siliziumschicht entfernt werden.

20

8. Integrierte mikromechanische Sensorvorrichtung,
bei der ein Körper (10) mit einem Substrat (1), mit einer darüber angeordneten einkristallinen Siliziumschicht (3) und mit einer in einem vorgegebenen Bereich dazwischen angeordneten isolierenden Schicht (2) gebildet ist,
25 bei der die Siliziumschicht Gräben von ihrer Oberfläche bis zu ihrer unteren Grenzfläche aufweist,
bei der in der Siliziumschicht (3) die Seitenwände der Gräben und die der unteren Grenzfläche der Siliziumschicht zugeordnete Seite der Siliziumschicht eine erste vorgegebene Dotierung (n^+) haben und die Siliziumschicht zumindest in
30 einem Teilbereich eine zweite vorgegebene Dotierung (n^-) aufweist,
bei der eine Transistoranordnung in einem ersten Bereich (TB)
35 der Siliziumschicht über der isolierenden Schicht (2) vorgesehen ist und

15

bei der eine Sensoranordnung in einem zweiten Bereich (SB) der Siliziumschicht vorgesehen ist, in dem zumindest teilweise keine isolierende Schicht vorhanden ist.

- 5 9. Vorrichtung nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Gräben in dem ersten Bereich mit einem Isolierstoff
(4) aufgefüllt sind.
- 10 10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß als Transistoranordnung eine bipolare, eine MOS- oder
eine Bipolar-MOS-Anordnung vorgesehen ist.
- 15 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Sensoranordnung an zumindest einer Feder (F1) ist.
- 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11,
20 dadurch gekennzeichnet,
daß die Sensoranordnung als kapazitiver oder piezoresistiver
Sensor ausgebildet ist.
- 25 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Sensoranordnung getrennt von einer Auswerteschaltung
als Einzelbauelement ausgebildet ist.

30

35

1/3

FIG 1

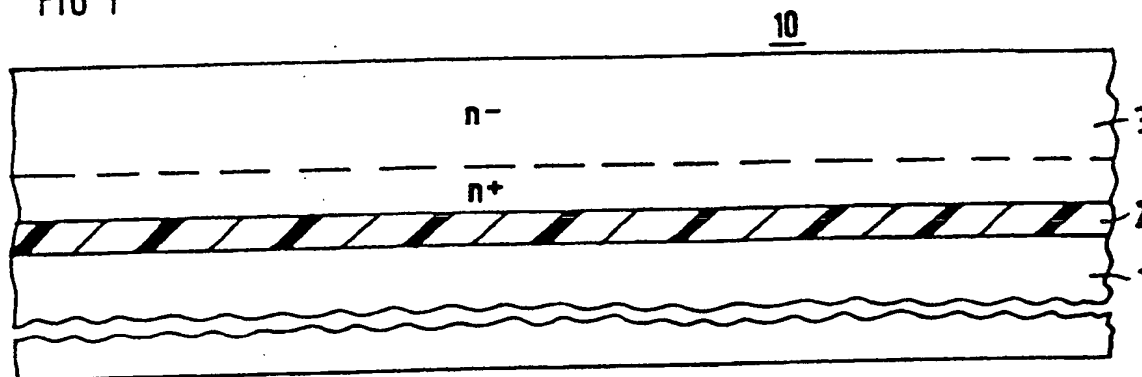


FIG 2

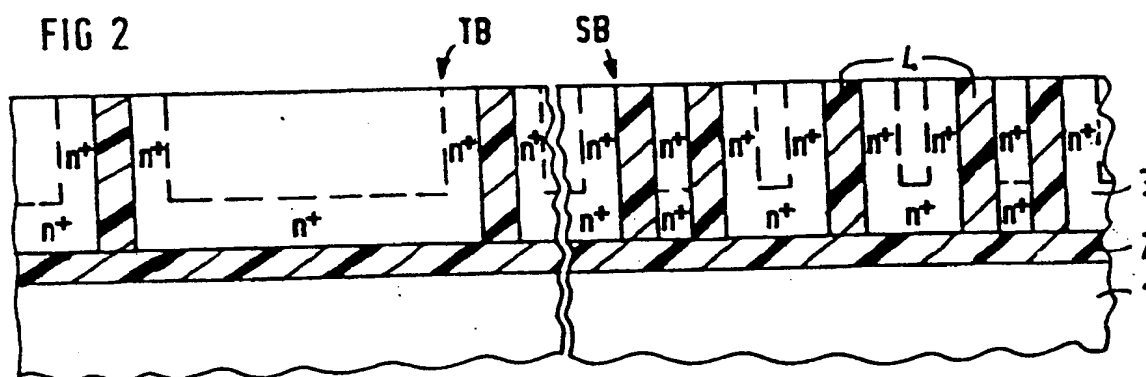
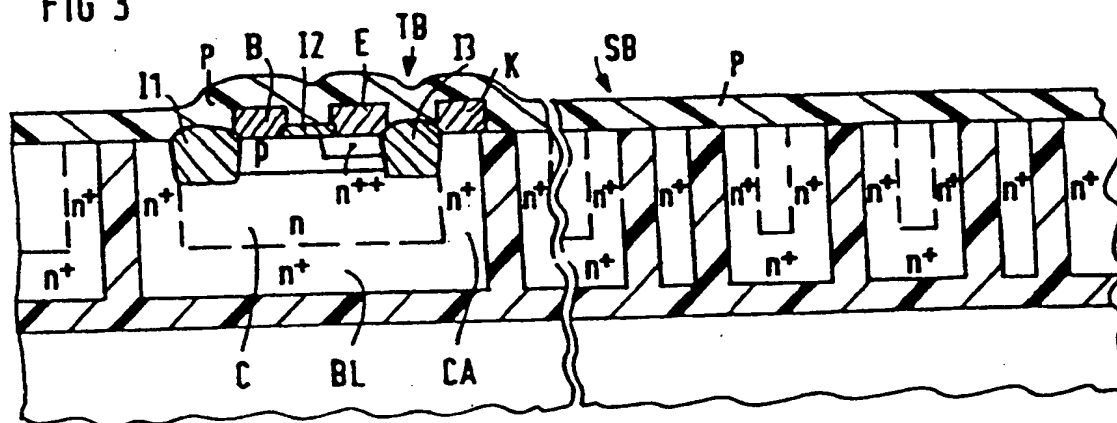
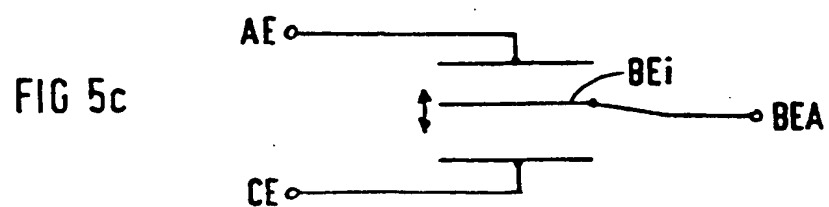
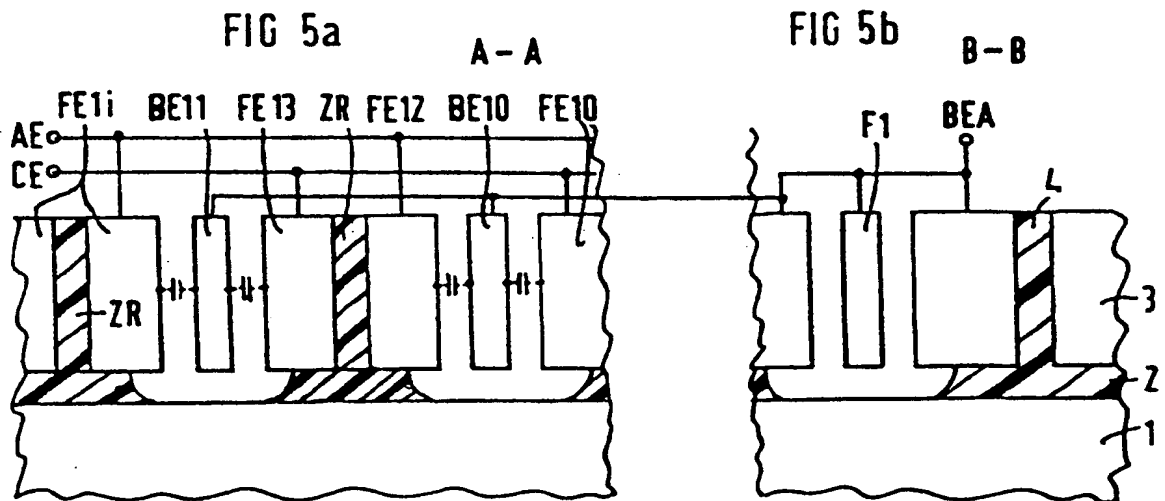
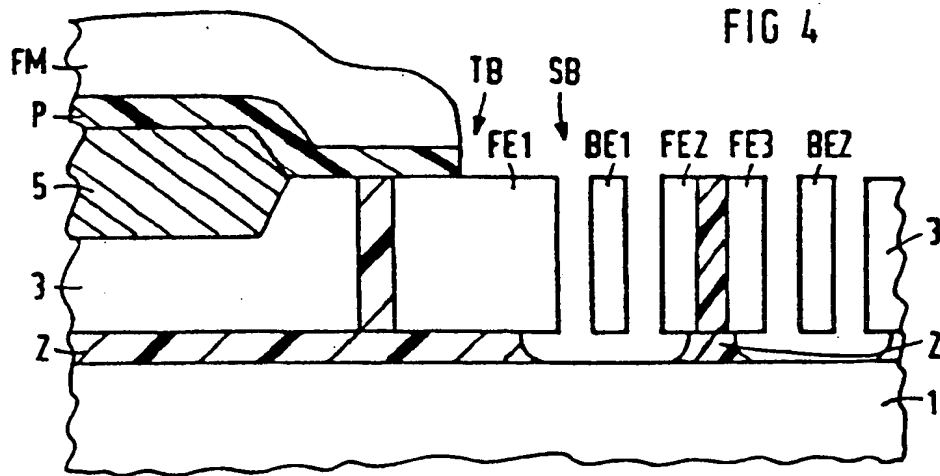


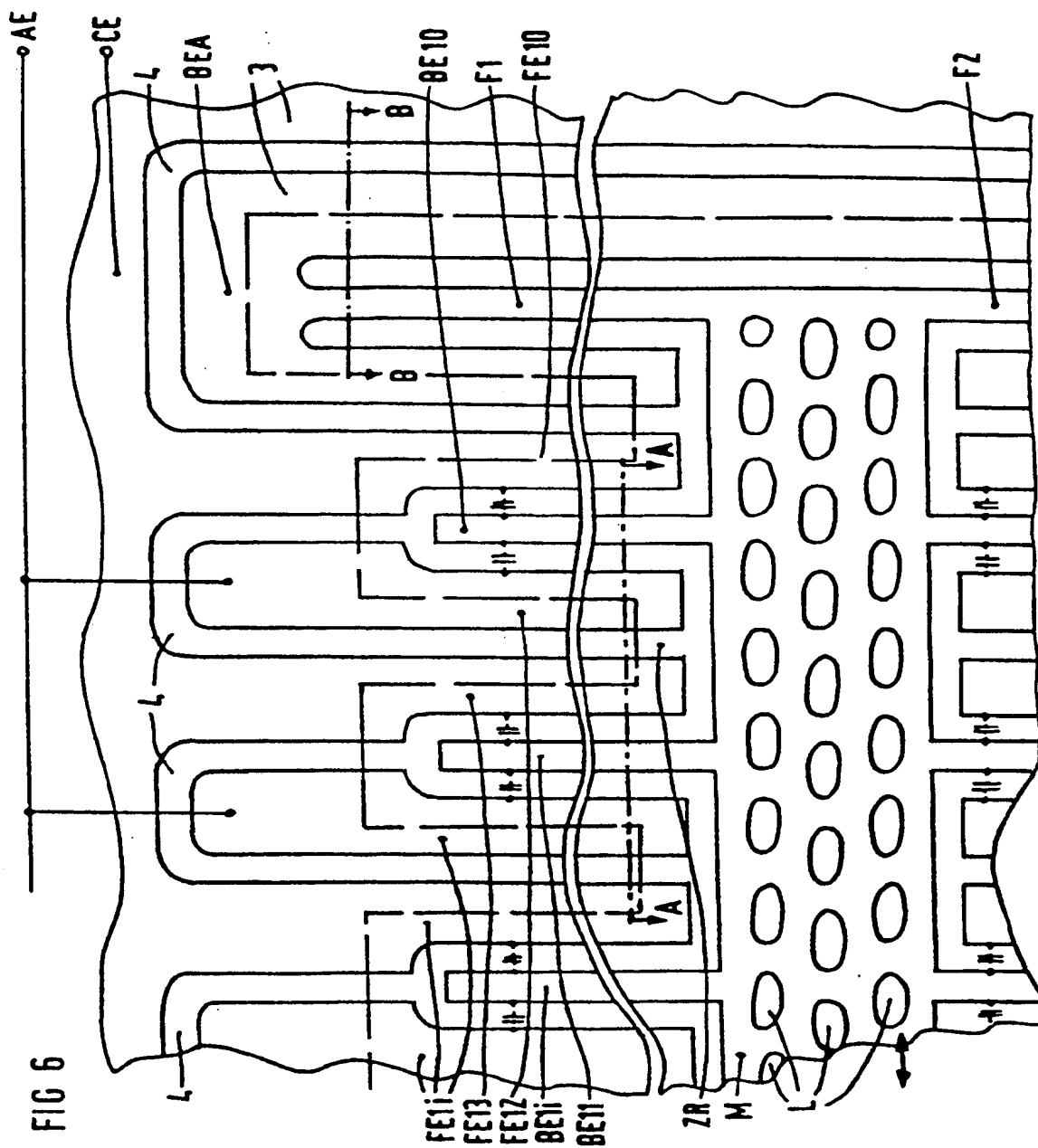
FIG 3



2 / 3



3/3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No
PCT/DE 94/01092

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01P15/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X, P | EP, A, 0 591 554 (NIPPONDENSO CO. LTD.) 13 April 1994 | 1 |
| A | see column 1, line 52 - column 2, line 58; figures 1, 2 | 3, 6, 8, 9, 12, 13 |
| Y, P | EP, A, 0 605 300 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) 6 July 1994 | 1 |
| A | see column 5, line 23 - column 6, line 25; figures 1-7 | 8, 11-13 |
| Y, P | WO, A, 92 03740 (ANALOG DEVICES INC.) 5 March 1992 | 1 |
| A | see page 20, line 19 - page 21, line 4; figures 4-6, 9-14 | 8, 11-13 |

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 December 1994

Date of mailing of the international search report

13.01.95

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hansen, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

Intern. Application No

PCT/DE 94/01092

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|---|--|
| EP-A-0591554 | 13-04-94 | JP-A- 5304303 WO-A- 9322690 | 16-11-93 11-11-93 |
| EP-A-0605300 | 06-07-94 | FR-A- 2700065 | 01-07-94 |
| WO-A-9203740 | 05-03-92 | EP-A- 0543901 JP-T- 4504003 US-A- 5345824 US-A- 5326726 US-A- 5314572 | 02-06-93 16-07-92 13-09-94 05-07-94 24-05-94 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen
PCT/DE 94/01092

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G01P15/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G01P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|-------------------------|
| X, P A | EP, A, 0 591 554 (NIPPONDENSO CO. LTD.) 13. April 1994 siehe Spalte 1, Zeile 52 - Spalte 2, Zeile 58; Abbildungen 1, 2 | 1 3, 6, 8, 9, 12, 13 |
| Y, P A | EP, A, 0 605 300 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) 6. Juli 1994 siehe Spalte 5, Zeile 23 - Spalte 6, Zeile 25; Abbildungen 1-7 | 1 8, 11-13 |
| Y A | WO, A, 92 03740 (ANALOG DEVICES INC.) 5. März 1992 siehe Seite 20, Zeile 19 - Seite 21, Zeile 4; Abbildungen 4-6, 9-14 | 1 8, 11-13 |

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindnerischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindnerischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Dezember 1994

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

13.01.95

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hansen, P

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 94/01092

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| EP-A-0591554 | 13-04-94 | JP-A- 5304303 | 16-11-93 |
| | | WO-A- 9322690 | 11-11-93 |
| EP-A-0605300 | 06-07-94 | FR-A- 2700065 | 01-07-94 |
| WO-A-9203740 | 05-03-92 | EP-A- 0543901 | 02-06-93 |
| | | JP-T- 4504003 | 16-07-92 |
| | | US-A- 5345824 | 13-09-94 |
| | | US-A- 5326726 | 05-07-94 |
| | | US-A- 5314572 | 24-05-94 |